

**Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem  
Corioliskreiselsowie dafür geeigneter Corioliskreisel**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem  
5 Corioliskreisel sowie einen dafür geeigneten Corioliskreisel.

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang  
zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in  
Schwingungen versetzt wird. Jedes Massensystem hat in der Regel eine Vielzahl  
10 von Schwingungsmoden, die zunächst voneinander unabhängig sind. Zum Be-  
trieb des Corioliskreisels wird ein bestimmter Schwingungsmodus des Massensys-  
tems künstlich angeregt, der im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeich-  
net wird. Wenn der Corioliskreisel gedreht wird, treten Corioliskräfte auf, die der  
Anregungsschwingung des Massensystems Energie entnehmen und damit einen  
15 weiteren Schwingungsmodus des Massensystems, der im Folgenden als "Auslese-  
schwingung" bezeichnet wird, übertragen. Um Drehungen des Corioliskreisels zu  
ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Aus-  
lesesignal daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Auslese-  
schwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufge-  
20 treten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als  
Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über  
jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen  
festen Wert – vorzugsweise Null – rückgestellt, und die Rückstellkräfte gemessen.

25 Das Massensystem des Corioliskreisels (das im Folgenden auch als "Resonator"  
bezeichnet wird) kann hierbei unterschiedlichst ausgestaltet sein. Beispielsweise  
ist es möglich, ein einstückig ausgebildetes Massensystem zu verwenden. Alter-  
nativ ist es möglich, das Massensystem in zwei Schwinger aufzuteilen, die mit-  
einander über ein Federsystem gekoppelt sind und Relativbewegungen zueinan-  
30 der ausführen können. Beispielsweise ist es bekannt, ein gekoppeltes System aus  
zwei linearen Schwingern zu verwenden, das auch als lineares Doppelschwinger-  
system bezeichnet wird. Verwendet man ein derartiges gekoppeltes System, so  
sind aufgrund von Fertigungstoleranzen Fehlausrichtungen der beiden Schwinger  
zueinander unvermeidlich. Die Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zuein-  
35 ander erzeugen einen Nullpunktfehleranteil im gemessenen Drehratensignal, den  
sogenannten "Quadraturbias" (genauer gesagt: einen Quadraturbias-Anteil).

Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe ist es, ein Verfahren und einen Co-  
rioliskreisel anzugeben, mit dem ein derartiger Quadraturbiasanteil kompensiert  
40 werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Quadraturbias-  
Kompensation für einen Resonator mit zwei linearen Schwingern gemäß Patent-

anspruch 1 gelöst. Weiterhin stellt die Erfindung eine dafür geeignete Ausführungsform eines Corioliskreisels gemäß Patentanspruch 6 bereit. Eine weitere geeignete Ausführungsform eines Corioliskreisels findet sich in Patentanspruch 12. Vorteilhafte Ausgestaltungen bzw. Weiterbildungen des Erfindungsgedankens  
5 finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

Um ein besseres Verständnis des technischen Hintergrunds des erfindungsgemäßen Verfahrens zu bekommen, sei in der folgenden Beschreibung nochmals kurz auf die physikalischen Grundlagen eines Corioliskreisels anhand des Beispiels eines linearen Doppelschwingersystems eingegangen.  
10

Die Corioliskraft lässt sich darstellen als:

$$\vec{F} = 2m\vec{v}_s \times \vec{\Omega} \quad (1)$$

15  $\vec{F}$  Corioliskraft  
 $m$  Masse des Schwingers  
 $\vec{v}_s$  Geschwindigkeit des Schwingers  
 $\vec{\Omega}$  Drehrate

20 Ist die auf die Corioliskraft reagierende Masse gleich der schwingenden Masse und wird der Schwinger mit der Eigenfrequenz  $\omega$  betrieben, so gilt:

$$2m\vec{v}_s \times \vec{\Omega} = m\vec{a}_c \quad (2)$$

25 Für die Schwingergeschwindigkeit gilt:

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} \sin \omega t \quad (3)$$

mit

$\vec{v}_{s0}$  Schwingeramplitude

30  $\omega$  Eigenfrequenz des Schwingers

Somit gilt für die Schwinger- und Coriolisbeschleunigungen:

$$\vec{a}_s = \vec{v}_{s0} \omega \cos \omega t$$

$$\vec{a}_c = 2\vec{v}_{s0} \sin \omega t \times \vec{\Omega} \quad (4)$$

Damit stehen die beiden Beschleunigungsvektoren räumlich senkrecht aufeinander und sind in der Zeitfunktion um 90° gegeneinander versetzt (räumliche und zeitliche Orthogonalität).

Diese beiden Kriterien können benutzt werden, um die Schwingerbeschleunigung  $\vec{a}_s$  von der Coriolisbeschleunigung  $\vec{a}_c$  zu trennen. Das Verhältnis der o. g. Beschleunigungsamplituden  $a_c$  und  $a_s$  beträgt:

$$\frac{a_c}{a_s} = \frac{2\Omega}{\omega} \quad (5)$$

Für eine Drehrate  $\Omega = 5^\circ/\text{h}$  und eine Eigenfrequenz des Schwingers  $f_s = 10 \text{ KHz}$  ergibt sich:

$$\frac{a_c}{a_s} = 7,7 \cdot 10^{-10} \quad (6)$$

Für eine Genauigkeit von  $5^\circ/\text{h}$  dürfen unerwünschte Kopplungen des ersten Schwingers auf den zweiten Schwinger höchstens  $7,7 \cdot 10^{-10}$  betragen oder auf diesem Wert konstant sein. Verwendet man ein Massensystem aus zwei linearen Schwingern, die über Federelemente miteinander gekoppelt sind, so ist die Genauigkeit der räumlichen Orthogonalität aufgrund der Fehlausrichtung der Federelemente zwischen Schwing- und Messmode begrenzt. Die erreichbare Genauigkeit (durch Fertigungstoleranzen begrenzt) beträgt  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$ . Die Genauigkeit der zeitlichen Orthogonalität wird durch die Phasengenauigkeit der Elektronik bei z. Bsp.  $10 \text{ KHz}$  begrenzt, die ebenfalls nur auf höchstens  $10^{-3}$  bis  $10^{-4}$  einzuhalten ist. Daraus folgt, dass das oben definierte Verhältnis der Beschleunigungen nicht eingehalten werden kann.

Realistisch ergibt sich ein Fehler des gemessenen Beschleunigungsverhältnisses  $a_c/a_s$  von

$$\frac{a_c}{a_s} = 10^{-6} \text{ bis } 10^{-8} \quad (7)$$

Der räumliche Fehler resultiert in einem sogenannten Quadraturbias  $B_Q$ , der mit dem zeitlichen Phasenfehler  $\Delta_\varphi$  einen Bias  $B$  ergibt:

$$B_Q = 6,5 \cdot 10^6 \text{ }^\circ/\text{h} \text{ bis } 6,5 \cdot 10^5 \text{ }^\circ/\text{h}$$

$$\Delta_\varphi = 10^{-3} \text{ bis } 10^{-4} \quad (8)$$

$$B = B_Q \cdot \Delta_\varphi = 6.500 \text{ }^\circ/\text{h} \text{ bis } 65 \text{ }^\circ/\text{h}$$

Somit bewirkt der Quadraturbias eine starke Einschränkung der Messgenauigkeit. Dabei ist anzumerken, dass o. g. Fehlerbetrachtung nur die direkte Kopplung vom Schwing- in den Auslesemode berücksichtigt. Es existieren noch weitere Quadraturbiasanteile, die beispielsweise durch Kopplungen mit anderen  
5 Schwingungsmoden entstehen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation lässt sich insbesondere auf Corioliskreisel anwenden, deren Resonatoren als gekoppelte Systeme aus wenigstens einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger  
10 ausgestaltet sind, und weist die folgenden Schritte auf:

- Ermitteln des Quadraturbias des Schwingersystems, und
- Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger zueinander, wobei die Ausrichtung/Stärke  
15 des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

Hierbei wird vorzugsweise der gesamte Quadraturbias des Schwingersystems ermittelt. Dies erfolgt vorzugsweise durch Demodulation eines durch Ausleseelektroden erzeugten Auslesesignals mit 0° und entsprechender Rückstellung. Alternativ ist es möglich, gezielt nur den Teil des Quadraturbias zu ermitteln, der  
20 durch die Fehlausrichtung der beiden linearen Schwinger zueinander bewirkt wird. Der Begriff "Quadraturbias" beinhaltet beide Alternativen.

25 Der Quadraturbias wird also am Entstehungsort selbst eliminiert, d. h. mechanische Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander werden durch eine elektrostatische Kraft, die auf einen oder beide Schwinger wirkt und durch das elektrostatische Feld erzeugt wird, kompensiert.

30 In einer bevorzugten Ausführungsform weist der Corioliskreisel erste und zweite Federelemente auf, wobei der erste Schwinger durch die ersten Federelemente mit einem Kreisrahmen des Corioliskreisels verbunden ist, und der zweite Schwinger durch die zweiten Federelemente mit dem ersten Schwinger verbunden ist. Das elektrostatische Feld bewirkt hierbei eine Änderung der Ausrichtung der  
35 ersten Federelemente und/oder eine Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente. Vorzugsweise wird die Ausrichtung der zweiten Federelemente geändert, indem die Position/Ausrichtung des zweiten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Analog hierzu wird die Ausrichtung der ersten Federelemente vorzugsweise dadurch geändert, dass die Position/Ausrichtung  
40 des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Die Änderung der Positionen/Ausrichtungen der Schwinger bewirken hierbei eine Verbiegung der Federelemente, die an den Schwingern befestigt sind, womit entspre-

chende Ausrichtungswinkel der ersten zu zweiten Federelementen korrigiert werden können.

5 In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden durch das elektrische Feld die Ausrichtungswinkel der ersten und zweiten Federelemente so geändert, dass eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente zueinander bewirkt wird. Ist eine derartige Orthogonalisierung erreicht, so ist der dadurch erzeugte Quadraturbias(anteil) kompensiert. Bei weiteren Bei-  
10 trägt zum Quadraturbias wird der Fehlwinkel zur Orthogonalität so eingestellt, dass der gesamte Quadraturbias verschwindet. Vorzugsweise werden die Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente bezüglich des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert, und die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente bezüglich des Kreiselrahmens des Corioliskreisels nicht geändert. Es ist jedoch auch möglich, durch das elektrostatische Feld lediglich die Aus-  
15 richtungswinkel der ersten Federelemente zu ändern, oder die Ausrichtungswinkel sowohl der ersten als auch der zweiten Federelemente zu ändern.

Das erfindungsgemäße Verfahren stellt ferner einen Corioliskreisel bereit, dessen Resonator als gekoppeltes System aus wenigstens einem ersten und einem zwei-  
20 ten linearen Schwinger ausgestaltet ist, und der

- eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds, durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger zueinander änderbar ist,
- eine Einrichtung zur Ermittlung eines Quadraturbias, der durch Fehlaus-  
25 richtungen der beiden Schwinger zueinander und weiteren Kopplungsmechanismen verursacht wird, und
- einen Regelkreis aufweist, wobei der Regelkreis die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so regelt, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

30 Besteht der Resonator aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger, so weist der Corioliskreisel vorzugsweise erste und zweite Federelemente auf, wobei die ersten Federelemente den ersten Schwinger mit dem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbinden, und die zweite Federelemente den zweiten Schwinger  
35 mit dem ersten Schwinger verbinden. Die Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente verlaufen hierbei vorzugsweise senkrecht zueinander. Die Federelemente können hierbei eine beliebige Form aufweisen.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den zweiten Schwinger am ersten Schwinger  
40 "einseitig" zu befestigen bzw. einzuspannen. "Einseitig eingespannt" kann hierbei sowohl wörtlich als auch in einem allgemeinen Sinn verstanden werden. Allgemein bedeutet "einseitig" befestigt bzw. eingespannt, dass die Krafteinleitung von dem ersten Schwinger auf den zweiten Schwinger im Wesentlichen von einer "Sei-

te" des ersten Schwingers aus erfolgt. Wäre der Aufbau des Schwingersystems beispielsweise derart, dass der zweite Schwinger durch den ersten Schwinger eingerahmt wird und mit diesem durch zweite Federelemente verbunden ist, so würde einseitig eingespannt bzw. befestigt folgendes implizieren: der zweite  
5 Schwinger wird der Bewegung des ersten Schwingers nachgeführt, indem der erste Schwinger den zweiten Schwinger mittels der zweiten Federelemente abwechselnd "schiebt" oder "zieht". Ein einseitiges Einspannen des zweiten Schwingers am ersten Schwinger hat den Vorteil, dass bei Ausüben einer elektrostatischen Kraft auf den zweiten Schwinger aufgrund der dadurch resultierenden  
10 Ausrichtungs-/Positionsänderung des zweiten Schwingers die zweiten Federelemente leicht verbogen werden können und damit der entsprechende Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente problemlos geändert werden kann. Wäre in diesem Beispiel der zweite Schwinger an zusätzlichen zweiten Federelementen aufgehängt derart, dass bei einer Bewegung des ersten Schwingers der zweite  
15 Schwinger durch die zweiten Federelemente gleichzeitig "gezogen" und "gescho-ben" würde, so läge eine "zweiseitige" Einspannung bzw. Befestigung des zweiten Schwingers an dem ersten Schwinger vor (Krafteinleitung auf den zweiten Schwinger von zwei gegenüberliegenden Seiten des ersten Schwingers aus). In diesem Fall würden die zusätzlichen zweiten Federelemente bei Anlegen eines  
20 elektrostatischen Felds entsprechende Gegenkräfte erzeugen, so dass Änderungen der Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente nur schwer erzielbar wären. Eine zweiseitige Einspannung ist jedoch dann akzeptabel, wenn die zusätzlichen zweiten Federelemente so ausgelegt sind, dass der Einfluss dieser Federelemente gering ist und somit auch hier eine problemlose Verbiegung aller Feder-  
25 elemente erfolgen kann, also effektiv eine einseitige Einspannung vorliegt. Je nach Auslegung der Schwingerstruktur kann effektiv bereits eine einseitige Einspannung vorliegen, wenn der "Einfluss" (Krafteinleitung) der zusätzlichen zweiten Federelemente 40% oder weniger beträgt. Dieser Wert stellt jedoch keine Ein-schränkung der Erfindung dar, es ist auch denkbar dass der Einfluss der zwei-  
30 ten Federelemente mehr als 40% beträgt. Eine einseitige Einspannung kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass alle zweiten Federelemente, die den zweiten Schwinger mit dem ersten Schwinger verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sind. Dabei sind alle Anfangs- und Endpunkte der zweiten Federelemente jeweils an den gleichen Seiten des ersten bzw. zweiten  
35 Schwingers befestigt. Die Anfangs- und Endpunkte der zweiten Federelemente können dabei vorteilhafterweise jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen, wobei die Achsen die zweiten Federelemente im rechten Winkel schneiden.

Ist der zweite Schwinger einseitig am ersten Schwinger befestigt bzw. eingespannt, so sind die ersten Federelemente vorzugsweise so ausgestaltet, dass die-  
40 se den ersten Schwinger am Kreisrahmen zweiseitig einspannen (die Begriffe "einseitig" und "zweiseitig" sind hier analog zu verwenden). Alternativ hierzu ist es jedoch möglich, auch die ersten Federelemente so auszugestalten, dass sie

den ersten Schwinger einseitig einspannen. Beispielsweise können sämtliche erste Federelemente, die den ersten Schwinger mit dem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sein, wobei vorzugsweise die Anfangs- und Endpunkte der ersten Federelemente jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen. Genauso ist es möglich, die Federelemente so auszugestalten, dass der erste Schwinger am Kreiselrahmen einseitig eingespannt ist, und der zweite Schwinger durch den ersten Schwinger zweiseitig eingespannt wird. Auch ist es möglich, beide Schwinger zweiseitig einzuspannen. Für die Quadraturbiaskompensation hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenigstens einen der beiden Schwinger einseitig einzuspannen.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Corioliskreisels weist einen ersten und einen zweiten Resonator auf, die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ausgestaltet sind, wobei der erste Resonator mit dem zweiten Resonator mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbar sind.

Diese Ausführungsform weist demnach ein Massensystem auf, das aus zwei Doppelschwingersystemen (d.h. aus zwei Resonatoren) bzw. aus vier linearen Schwingern besteht. Das gegentaktige Schwingen der beiden Resonatoren zueinander bewirkt hierbei, dass bei entsprechender Ausgestaltung der beiden Resonatoren der Schwerpunkt des Massensystems erhalten bleibt. Dies hat zur Folge, dass das Schwingen des Massensystems keine externen Vibrationen erzeugen kann, die wiederum Störungen in Form von Dämpfungen/Reflexionen nach sich ziehen würden. Weiterhin haben externe Vibrationen und Beschleunigungen in Richtung der gemeinsamen Schwingungsachse keinen Einfluss auf die entlang der gemeinsamen Schwingungsachse erfolgende gegentaktige Bewegung der beiden Resonatoren.

Die Kopplung des ersten Resonators mit dem zweiten Resonator kann beispielsweise über ein Federsystem erfolgen, das den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator verbindet. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator über ein elektrostatisches Feld zu koppeln. Beide Kopplungen können allein oder in Kombination eingesetzt werden. Es ist ausreichend, wenn beide Resonatoren in einem gemeinsamen Substrat ausgebildet sind, so dass die mechanische Kopplung durch eine mechanische Feder-Verbindung gegeben ist, die durch das gemeinsame Substrat selbst gebildet wird.

Auch in dieser Ausführungsform weist der Corioliskreiselschwinger vorteilhafterweise eine Einrichtung zur Erzeugung von elektrostatischen Feldern, durch die die Ausrichtung der linearen Schwinger zueinander veränderbar ist, eine Einrichtung zur

Ermittlung des Quadraturbias des Corioliskreisels, und Regelkreise, durch die die Stärken der elektrostatischen Felder so geregelt werden, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird, auf.

5 Die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators sind vorzugsweise identisch. In diesem Fall sind die beiden Resonatoren in vorteilhafter Weise achsensymmetrisch zueinander angeordnet bezüglich einer Symmetrieachse, die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse steht, d. h. der erste Resonator wird durch die Symmetrieachse auf den zweiten Resonator abgebildet.

10

Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

15 Fig. 1 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen, aus zwei linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Regelkreisen, die der Anregung des ersten Schwingers dienen.

20 Fig. 2 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen, aus zwei linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Mess- und Regelkreisen für eine Drehrate  $\Omega$  und einen Quadraturbias  $B_Q$  sowie den Hilfsregelkreisen zur Kompensation des Quadraturbias  $B_Q$ .

25 Fig. 3 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen, aus vier linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Mess- und Regelkreisen für eine Drehrate  $\Omega$  und einen Quadraturbias  $B_Q$  sowie den Hilfsregelkreisen zur Kompensation des Quadraturbias  $B_Q$ .

30 Fig. 4 eine Prinzipskizze einer bevorzugten Ausführungsform des in Fig. 3 gezeigten Regelmoduls.

30

Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau eines linearen Doppelschwingers 1 mit entsprechenden Elektroden, sowie ein Blockschaltbild einer zugehörigen Auswerte-/Anregungselektronik 2. Der lineare Doppelschwinger 1 wird vorzugsweise mittels Ätzprozessen aus einer Siliziumscheibe hergestellt und weist einen ersten linearen Schwinger 3, einen zweiten linearen Schwinger 4, erste Federelemente 5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>, zweite Federelemente 6<sub>1</sub> und 6<sub>2</sub> sowie Teile eines Zwischenrahmens 7<sub>1</sub> und 7<sub>2</sub> und eines Kieselrahmens 7<sub>3</sub> und 7<sub>4</sub> auf. Der zweite Schwinger 4 ist innerhalb des ersten Schwingers 3 schwingbar gelagert und mit diesem über die zweiten Federelemente 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub> verbunden. Der erste Schwinger 3 ist mit dem Kieselrahmen 7<sub>3</sub>, 7<sub>4</sub> durch die ersten Federelemente 5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub> und dem Zwischenrahmen 7<sub>1</sub>, 7<sub>2</sub> verbunden.

35

40



Weiterhin sind erste Anregungselektroden 8<sub>1</sub> bis 8<sub>4</sub>, erste Ausleseelektroden 9<sub>1</sub> bis 9<sub>4</sub>, zweite Anregungselektroden 10<sub>1</sub> bis 10<sub>4</sub> sowie zweite Ausleseelektroden 11<sub>1</sub> und 11<sub>2</sub> vorgesehen. Sämtliche Elektroden sind mit dem Kreiselrahmen mechanisch verbunden, aber elektrisch isoliert. Unter "Kreiselrahmen" wird eine mechanische, nichtschwingende Struktur verstanden, in der die Schwinger "eingebettet" sind, beispielsweise der nichtschwingende Teil der Siliziumscheibe.

Wird der erste Schwinger 3 mittels der ersten Anregungselektroden 8<sub>1</sub> bis 8<sub>4</sub> zu einer Schwingung in X1-Richtung angeregt, so wird diese Bewegung durch die zweiten Federelemente 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub> auf den zweiten Schwinger 4 übertragen (abwechselndes "Ziehen" und "Schieben"). Durch die vertikale Ausrichtung der ersten Federelemente 5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub> ist dem ersten Schwinger 3 eine Bewegung in der X2-Richtung verwehrt. Eine vertikale Schwingung kann jedoch aufgrund der horizontalen Ausrichtung der zweiten Federelemente 6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub> durch den zweiten Schwinger 4 ausgeführt werden. Treten demnach entsprechende Corioliskräfte auf, so wird der zweite Schwinger 4 zu Schwingungen in der X2-Richtung angeregt.

Ein von den ersten Ausleseelektroden 9<sub>1</sub> bis 9<sub>4</sub> ausgelesenes, der X1-Bewegung des ersten Schwingers 3 proportionales Auslesesignal wird über entsprechende Verstärkerelemente 21, 22, und 23 einem Analog/Digital-Wandler 24 zugeführt. Ein entsprechend digitalisiertes Ausgangssignal des Analog/Digital-Wandlers 24 wird sowohl durch einen ersten Demodulator 25 und durch einen zweiten Demodulator 26 in entsprechende Ausgangssignale demoduliert, wobei die beiden Demodulatoren um 90° versetzt zueinander arbeiten. Das Ausgangssignal des ersten Demodulators 25 wird einem ersten Regler 27 zur Regelung der Frequenz der Anregungsschwingung (Schwingung des Massensystems 1 in X1-Richtung) zugeführt, dessen Ausgangssignal einen Frequenzgenerator 30 so steuert, dass das nach dem Demodulator 25 auftretende Signal auf Null geregelt wird. Analog hierzu wird das Ausgangssignal des zweiten Demodulators 26 auf einen konstanten Wert geregelt, der von der Elektronikkomponente 29 vorgegeben wird. Ein zweiter Regler 31 sorgt für die Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung. Die Ausgangssignale des Frequenzgenerators 30 und des Amplitudenreglers 31 werden durch einen Multiplizierer 32 miteinander multipliziert. Ein Ausgangssignal des Multiplizierers 32, das der auf die ersten Anregungselektroden 8<sub>1</sub> bis 8<sub>4</sub> zu gebenden Kraft proportional ist, beaufschlagt sowohl einen ersten Kraft-Spannungswandler 33 als auch einen zweiten Kraft-Spannungswandler 34, die aus dem digitalen Kraftsignal digitale Spannungssignale erzeugen. Die digitalen Ausgangssignale der Kraft-Spannungswandler 33, 34 werden über einen ersten und einen zweiten Digital/Analog-Wandler 35, 36 in entsprechende analoge Spannungssignale umgesetzt, die dann auf die ersten Anregungselektroden 8<sub>1</sub> bis 8<sub>4</sub> gegeben werden. Durch den ersten Regler 27 und den zweiten Regler 31 werden die Frequenz der Eigenfrequenz des ersten Schwingers 3 nachgeführt und

die Amplitude der Anregungsschwingung auf einen bestimmten, vorgebbaren Wert eingestellt.

Treten Corioliskräfte auf, so wird die daraus resultierende Bewegung des zweiten Schwingers 4 in X2-Richtung (Ausleseschwingung) durch die zweiten Ausleseelektroden 11<sub>1</sub>, 11<sub>2</sub> erfasst und ein der Bewegung der Ausleseschwingung in X2-Richtung proportionales Auslesesignal über entsprechende Verstärkerelemente 40, 41, und 42 einem Analog/Digital-Umwandler 43 zugeführt (siehe Fig. 2). Ein digitales Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 43 wird von einem dritten Demodulator 44 in Phase mit dem Direktbiassignal demoduliert, und durch einen vierten Demodulator 45 um 90° versetzt demoduliert. Ein entsprechendes Ausgangssignal des ersten Demodulators 44 beaufschlagt einen dritten Regler 46, dessen Ausgangssignal ein Kompensationssignal ist und der zu messenden Drehrate  $\Omega$  entspricht. Ein Ausgangssignal des vierten Demodulators 45 beaufschlagt einen vierten Regler 47, dessen Ausgangssignal ein Kompensationssignal ist und dem zu kompensierenden Quadraturbias proportional ist. Das Ausgangssignal des dritten Reglers wird mittels eines ersten Modulators 48 moduliert, analog hierzu wird das Ausgangssignal des vierten Reglers 47 durch einen zweiten Modulator 49 moduliert, sodass amplitudengeregelte Signale entstehen, deren Frequenz der Eigenfrequenz der Schwingung in X1-Richtung ( $\sin \alpha = 0^\circ$ ,  $\cos \alpha = 90^\circ$ ) entsprechen. Entsprechende Ausgangssignale der Modulatoren 48, 49 werden in einer Addierstufe 50 addiert, deren Ausgangssignal sowohl einem dritten Kraft-Spannungswandler 51 als auch einem vierten Kraft-Spannungswandler 52 zugeführt wird. Die entsprechenden Ausgangssignale der Kraft-Spannungswandler 51, 52 werden Digital/Analog-Umwandlern 53, 54 zugeführt, wobei deren analoge Ausgangssignale die zweiten Anregungselektroden 10<sub>2</sub> bis 10<sub>3</sub> beaufschlagen und die Schwingungsamplituden des zweiten Schwingers 4 rückstellen.

Das durch die zweiten Anregungselektroden 10<sub>1</sub> und 10<sub>4</sub> erzeugte elektrostatische Feld (bzw. die beiden durch die Elektrodenpaare 10<sub>1</sub>, 10<sub>3</sub> und 10<sub>2</sub>, 10<sub>4</sub> erzeugten elektrostatischen Felder) bewirkt eine Ausrichtungs-/Positionsänderung des zweiten Schwingers 4 in der X2-Richtung und damit eine Änderung der Ausrichtungen der zweiten Federelemente 6<sub>1</sub> bis 6<sub>2</sub>. Der vierte Regler 47 regelt das die zweiten Anregungselektroden 10<sub>1</sub> und 10<sub>4</sub> beaufschlagende Signal derart, dass der Quadraturbias, der im Kompensationssignal des vierten Reglers 47 enthalten ist, möglichst klein wird bzw. verschwindet. Dazu werden ein fünfter Regler 55, ein fünfter und sechster Kraft-Spannungswandler 56, 57 und zwei Analog/Digital-Umwandler 58, 59 eingesetzt.

Das Ausgangssignal des vierten Reglers 47, das ein Maß für den Quadraturbias ist, wird dem fünften Regler 55 zugeführt, der das durch die beiden Anregungselektroden 10<sub>1</sub> und 10<sub>4</sub> erzeugte elektrostatische Feld so regelt, dass der Quadraturbias  $B_0$  verschwindet. Dazu wird ein Ausgangssignal des fünften Reglers 55

jeweils dem fünften und sechsten Kraft-Spannungswandler 56, 57 zugeführt, die aus dem digitalen Kraft-Ausgangssignal des fünften Reglers digitale Spannungssignale erzeugen. Diese werden anschließend in den Analog/Digital-Umwandlern 58, 59 in analoge Spannungssignale umgewandelt. Das analoge Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 58 wird der zweiten Anregungselektrode  $10_1$  oder alternativ  $11_1$  zugeführt. Das analoge Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 59 wird der zweiten Anregungselektrode  $10_4$  oder alternativ  $11_2$  zugeführt.

Da die Einspannung des zweiten Schwingers 4 lediglich durch die zweiten Federelemente  $6_1$  bis  $6_2$  bewirkt wird (einseitige Einspannung), kann die Ausrichtung dieser Federelemente durch das elektrostatische Feld problemlos geändert werden. Weiterhin ist es möglich, zusätzliche zweite Federelemente vorzusehen, die eine zweiseitige Einspannung des zweiten Schwingers 4 bewirken, solange durch entsprechende Auslegung dieser zusätzlichen Federelemente sichergestellt ist, dass effektiv eine einseitige Einspannung erzielt wird. Um denselben Effekt auch für die Federelemente  $5_1$ ,  $5_2$  bzw. die Federelemente  $5_3$ ,  $5_4$  zu ermöglichen, können das dritte und vierte Federelement  $5_3$ ,  $5_4$  bzw. das erste und zweite Federelement  $5_1$ ,  $5_2$  weggelassen werden und damit (zusammen mit einer hier nicht gezeigten, entsprechend geänderten Elektrodenkonfiguration) eine einseitige Einspannung des ersten Schwingers 3 bewirkt werden. In einem derartigen Fall könnte der zweite Schwinger 4 auch mit weiteren Federelementen am ersten Schwinger befestigt werden, um eine zweiseitige Einspannung zu erzielen.

Die in den Fig. 1 und 2 gezeigten Elektrodenanordnungen können variiert werden. Beispielsweise können die in Figuren 1 und 2 mit dem Bezugszeichen  $8_1$ ,  $9_1$ ,  $9_2$ ,  $8_2$  sowie  $8_3$ ,  $9_3$ ,  $9_4$ ,  $8_4$  gekennzeichneten Elektroden alternativ jeweils zu einer Elektrode zusammengefasst werden. Durch Verwendung geeigneter Trägerfrequenzverfahren können einer so zusammengefassten Elektrode mehrere Aufgaben zugeordnet werden, d. h. die Elektrode hat gleichzeitig Auslese-, Erregungs- und Kompensationsfunktion. Auch die mit dem Bezugszeichen  $11_1$ ,  $10_1$ ,  $10_3$  sowie  $11_2$ ,  $10_2$  und  $10_4$  gekennzeichneten Elektroden können alternativ zu jeweils einer Elektrode zusammengefasst werden.

In der folgenden Beschreibung soll unter Bezugnahme auf Fig. 3 eine weitere mögliche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Corioliskreisels sowie dessen Funktionsweise näher beschrieben werden.

Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau eines gekoppelten Systems  $1'$  aus einem ersten Resonator  $70_1$  und einem zweiten Resonator  $70_2$ . Der erste Resonator  $70_1$  ist mit dem zweiten Resonator  $70_2$  über ein mechanisches Kopplungselement  $71$ , eine Feder, gekoppelt. Der erste und der zweite Resonator  $70_1$ ,  $70_2$  sind in einem gemeinsamen Substrat ausgebildet und können entlang einer gemeinsamen

Schwingungsachse 72 gegentaktig zueinander in Schwingung versetzt werden. Der erste und der zweite Resonator 70<sub>1</sub>, 70<sub>2</sub> sind identisch und werden über eine Symmetrieachse 73 aufeinander abgebildet. Der Aufbau des ersten und des zweiten Resonators 70<sub>1</sub>, 70<sub>2</sub> wurde bereits im Zusammenhang mit Fig. 1 und 2 erläutert und wird deshalb nicht nochmals erklärt; identische bzw. einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilgruppen sind mit den gleichen Bezugsziffern gekennzeichnet, wobei identische Bauteile, die unterschiedlichen Resonatoren angehören, mit unterschiedlichen Indices gekennzeichnet sind.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den in Fig. 3 gezeigten Doppelschwingern und den in Fig. 1 und 2 gezeigten Doppelschwingern ist, dass einige der Einzelelektroden konstruktiv zu einer Gesamtelektrode zusammengefasst werden. So bilden beispielsweise die mit den Bezugsziffern 8<sub>1</sub>, 8<sub>2</sub>, 9<sub>1</sub> und 9<sub>2</sub> gekennzeichneten Einzelelektroden in Fig. 3 eine gemeinsame Elektrode. Weiterhin bilden die mit den Bezugsziffern 8<sub>3</sub>, 8<sub>4</sub>, 9<sub>3</sub> und 9<sub>4</sub> gekennzeichneten Einzelelektroden eine gemeinsame Elektrode, und die mit den Bezugsziffern 10<sub>4</sub>, 10<sub>2</sub>, 11<sub>2</sub> sowie den Bezugsziffern 11<sub>1</sub>, 10<sub>3</sub> und 10<sub>1</sub> jeweils eine Gesamtelektrode. Das Gleiche gilt analog für das andere Doppelschwingersystem.

Bei Betrieb des erfindungsgemäßen gekoppelten Systems 1' schwingen die beiden Resonatoren 70<sub>1</sub>, 70<sub>2</sub> entlang der gemeinsamen Schwingungsachse 72 im Gegentakt. Damit ist das gekoppelte System 1' unempfindlich gegenüber externen Störungen bzw. gegenüber Störungen, die durch das gekoppelte System 1' selbst in das Substrat, in dem die Resonatoren 70<sub>1</sub> und 70<sub>2</sub> gelagert sind, abgegeben werden.

Wenn das gekoppelte System 1' gedreht wird, so werden die zweiten Schwinger 4<sub>1</sub> und 4<sub>2</sub> in zueinander entgegengesetzte Richtungen ausgelenkt (in X2-Richtung und entgegengesetzt zur X2-Richtung). Tritt eine Beschleunigung des gekoppelten Systems 1' auf, so werden die zweiten Schwinger 4<sub>1</sub>, 4<sub>2</sub> jeweils in die gleiche Richtung, nämlich in Richtung der Beschleunigung, ausgelenkt, insofern diese in oder entgegengesetzt der X2-Richtung wirkt. Somit lassen sich gleichzeitig oder wahlweise Beschleunigungen und Drehungen messen.

Prinzipiell ist es möglich, das gekoppelte System 1' auf Basis der in Fig. 1 und 2 beschriebenen Auswerte-/Anregungselektronik 2 zu betreiben. In der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform wird jedoch stattdessen ein alternatives Verfahren (Trägerfrequenzverfahren) eingesetzt. Dieses Betriebsverfahren soll im Folgenden beschrieben werden.

Die mit Bezugsziffer 2' gekennzeichnete Auswerte-/Anregungselektronik 2 weist drei Regelkreise auf: Einen ersten Regelkreis zur Anregung bzw. Regelung einer Gegentaktschwingung der ersten Schwinger 3<sub>1</sub> und 3<sub>2</sub> entlang der gemeinsamen

Schwingungsachse 72, einen zweiten Regelkreis zur Rückstellung und Kompensation der Schwingungen des zweiten Schwingers  $4_1$  entlang der X2-Richtung, und einen Regelkreis zur Rückstellung und Kompensation der Schwingungen des zweiten Schwingers  $4_2$  entlang der X2-Richtung. Die beschriebenen drei Regelkreise weisen einen Verstärker 60, einen Analog/Digital-Umwandler 61, ein Signaltrennungsmodul 62, ein erstes bis drittes Demodulationsmodul  $63_1$  bis  $63_3$ , ein Regelmodul 64, ein Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65, ein Trägerfrequenz-Additionsmodul 67, sowie einen ersten bis sechsten Digital/Analog-Umwandler  $66_1$  bis  $66_6$  auf.

Die Beaufschlagung der Elektroden  $8_1$  bis  $8_8$ ,  $9_1$  bis  $9_8$ ,  $10_1$  bis  $10_8$  sowie  $11_1$  bis  $11_4$  mit Trägerfrequenzen zum Abgriff/Erregung (Abgriffserregung) der Gegentaktschwingung der Schwingungen der zweiten Schwinger  $4_1$ ,  $4_2$  kann hierbei auf mehrerlei Art und Weise erfolgen: a) Unter Verwendung von drei unterschiedlichen Frequenzen, wobei jedem Regelkreis eine Frequenz zugeordnet ist, b) unter Verwendung von Rechtecksignalen im Zeitmultiplex-Verfahren, oder c) unter Verwendung einer Random-Phasen-Verwürfelung (stochastisches Modulationsverfahren). Die Beaufschlagung der Elektroden  $8_1$  bis  $8_8$ ,  $9_1$  bis  $9_8$ ,  $10_1$  bis  $10_8$  sowie  $11_1$  bis  $11_4$  erfolgt über die zusammengehörigen Signale UyAo, UyAu (für den zweiten Schwinger  $4_1$ ) und Uxl, Uxr (für die Gegentaktresonanz von den ersten Schwingern  $3_1$  zu  $3_2$ ), sowie UyBu, und UyBo (für den zweiten Schwinger  $4_2$ ), die in dem Trägerfrequenz-Additionsmodul 67 erzeugt und im Gegentak mit o.g. Frequenzsignalen erregt werden. Der Abgriff der Schwingungen der ersten und zweiten Schwinger  $3_1$ ,  $3_2$ ,  $4_1$  und  $4_2$  erfolgt über die mit Bezugsziffern  $7_7$ ,  $7_9$ ,  $7_{11}$  und  $7_{13}$  gekennzeichneten Teile des Kreisrahmens, die hier neben ihrer Funktion als Aufhängepunkte des Massensystems zusätzlich als Abgriffselektroden dienen. Dazu sind die beiden Resonatoren  $70_1$ ,  $70_2$  mit allen Rahmen-, Feder- und Verbindungselementen vorteilhafterweise elektrisch leitend ausgestaltet. Das durch die Kreisrahmen-Teile  $7_7$ ,  $7_9$ ,  $7_{11}$  und  $7_{13}$  abgegriffene, dem Verstärker 60 zugeführte Signal enthält Information über alle drei Schwingungsmoden und wird durch den Analog/Digital-Umwandler 61 in ein digitales Signal umgewandelt, das dem Signaltrennungsmodul 62 zugeführt wird. In dem Signaltrennungsmodul 62 wird das zusammengesetzte Signal in drei unterschiedliche Signale getrennt: x (enthält Information über die Gegentaktschwingung), yA (enthält Information über die Auslenkung des zweiten Schwingers  $4_1$ ), sowie yB (enthält Information über die Auslenkung des zweiten Schwingers  $4_2$ ). Die Signaltrennung gestaltet sich je nach Typ des verwendeten Trägerfrequenzverfahrens (siehe oben a) bis c)) unterschiedlich. Die Signaltrennung erfolgt hierbei durch Demodulation mit dem entsprechenden Signal des verwendeten Trägerfrequenzverfahrens. Die Signale x, yA, sowie yB werden den Demodulationsmodulen  $63_1$  bis  $63_3$  zugeführt, die diese mit einer Arbeitsfrequenz der Gegentaktschwingung für  $0^\circ$  und  $90^\circ$  demodulieren. Das Regelmodul 64 sowie das Elektrodenspannungs-Berech-

nungsmodul 65 zur Regelung/Berechnung der Signale  $F_{x1/r}$  bzw.  $U_{x1/r}$  sind vorzugsweise analog zu dem in Fig. 1 gezeigten Elektronikmodul 2 ausgestaltet. Das Regelmodul 64 sowie das Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65 zur Regelung/Berechnung der Signale  $F_{yAo/u}$ ,  $U_{yAo/u}$ , sowie  $F_{yBo/u}$ ,  $U_{yBo/u}$  sind vorzugsweise analog zu dem in Fig. 2 gezeigten Elektronikmodul 2 ausgestaltet; nur die Signale für die Rückstellung der Drehrate und der Quadratur nach der Multiplikation mit der Arbeitsfrequenz werden zusammen mit den DC-Spannungen für den Quadratur-Hilfsregler auf ein zusammengefaßtes Elektrodenpaar gegeben. Deshalb werden beide Signale addiert, so dass die Berechnung der Elektrodenspannungen die Rückstellsignale der Schwingfrequenz und das DC-Signal für die Quadraturregelung sowie die Frequenzabstimmung enthält. Die so berechneten Elektrodenspannungen  $U_{x1/r}$ ,  $U_{yAo/u}$  und  $U_{yBo/u}$  werden dann zu den Trägerfrequenz-Signalen addiert und gemeinsam über die Analog/Digital-Umwandler 66<sub>1</sub> bis 66<sub>6</sub> auf die Elektroden gegeben.

Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des mit Bezugsziffer 64 gekennzeichneten Regelsystems aus Fig. 3. Das Regelsystem 64 weist einen ersten bis dritten Teil 64<sub>1</sub> bis 64<sub>3</sub> auf. Der erste Teil 64<sub>1</sub> weist einen ersten Regler 80, einen Frequenzgenerator 81, einen zweiten Regler 82, eine Elektronikkomponente 83, eine Addierstufe 84, und einen Multiplizierer 85 auf. Die Funktionsweise des ersten Teils entspricht im Wesentlichen der Funktionsweise des in Fig. 1 gezeigten Elektronikmoduls 2 und wird deshalb hier nicht nochmals erläutert. Der zweite Teil 64<sub>2</sub> weist einen ersten Regler 90, einen ersten Modulator 91, einen zweiten Regler 92, einen zweiten Modulator 93 und einen dritten Regler 94 auf. Ferner sind eine erste und eine zweite Addierstufe 95, 96 vorgesehen. Am Ausgang des ersten Reglers 90 kann ein Drehratensignal  $\Omega$ , und am Ausgang des dritten Reglers 94 kann ein zusammengesetztes Signal aus einem Quadraturbias  $B_0$  und einer Beschleunigung  $A$  ermittelt werden. Der dritte Teil 64<sub>3</sub> des Regelsystems 64 weist einen ersten Regler 100, einen ersten Modulator 101, einen zweiten Regler 102, einen zweiten Modulator 103 und einen dritten Regler 104 auf. Weiterhin sind eine erste und eine zweite Addierstufe 105, 106 vorgesehen. Am Ausgang des ersten Reglers 100 kann ein Drehratensignal  $\Omega$  mit negativem Vorzeichen abgegriffen werden, und am Ausgang des dritten Reglers 104 ein zusammengesetztes Signal aus dem Quadraturbias  $B_0$  mit negativem Vorzeichen und einem Beschleunigungssignal  $A$ . Die Funktionsweise des zweiten und dritten Teils 64<sub>2</sub> und 64<sub>3</sub> entspricht der des in Fig. 2 gezeigten Elektronikmoduls 2 und wird deshalb hier nicht nochmals erläutert.

Die oben beschriebenen Trägerfrequenzverfahren mit Gegentakterregung haben den Vorteil, dass an dem Verstärker 60 nur dann ein Signal anliegt, wenn die linearen Schwinger 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub> sowie 4<sub>1</sub> und 4<sub>2</sub> ausgelenkt sind. Die zur Erregung dienenden Frequenzsignale können diskrete Frequenzen oder rechteckige Signale

sein. Wegen der leichteren Erzeugung und Verarbeitung werden Rechteckerregungen bevorzugt.

5 Lineare Doppelschwinger zeichnen sich durch besonders hohe Güte wegen der linearen Bewegung in der Waferebene aus. Die Kompensation des Quadraturbias bei linearen Resonatoren, bei denen mindestens ein Schwinger einseitig eingespannt ist, lässt sich erfindungsgemäß global durch Justieren der Orthogonalität der Federn erreichen. Das wird dadurch erzielt, dass die Feder des einseitig eingespannten Schwingers über eine Gleichspannung im Winkel so verändert wird,  
10 dass der gemessene Quadraturbias  $B_0$  Null wird. Dazu wird, wie oben gezeigt, ein entsprechender Regelkreis aufgeschaltet, der die o. g. Gleichspannung so regelt, dass  $B_0 = 0$  wird. Durch diesen Regelkreis wird der Quadraturbias am Entstehungsort kompensiert und die Genauigkeit von linearen Schwingkreisen um Größenordnungen verbessert.

15

Die linearen Schwinger eines Resonators werden vorzugsweise jeweils in Doppelresonanz betrieben.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisels, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, mit den folgenden Schritten:
- Ermitteln des Quadraturbias des Corioliskreisels,
  - Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander, wobei die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektrostatische Feld eine Änderung der Ausrichtung erster Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ), die den ersten Schwinger (3) mit einem Kreisrahmen ( $7_3$ ,  $7_4$ ) des Corioliskreisels verbinden, und/oder eine Änderung der Ausrichtung zweiter Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ), die den ersten Schwinger (3) mit dem zweiten Schwinger (4) koppeln, bewirkt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausrichtung der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers (3) durch das elektrostatische Feld geändert wird, und dass die Ausrichtung der zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des zweiten Schwingers (4) durch das elektrostatische Feld geändert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektrische Feld eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ,  $5_1$  bis  $5_4$ ), zueinander bewirkt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch die zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) einseitig befestigt/eingespannt ist und/oder der erste Schwinger (3) an einem Kreisrahmen des Corioliskreisels durch die ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) einseitig befestigt/eingespannt ist.
6. Corioliskreisels, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, **gekennzeichnet durch**
- eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds ( $11_1'$ ,  $11_2'$ ,  $10_1$  bis  $10_4$ ) durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander änderbar ist,
  - eine Einrichtung (45, 47) zur Ermittlung eines Quadraturbias des Corioliskreisels, und



- einen Regelkreis (55, 56, 57), durch den die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

5 7. Corioliskreisel nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Schwinger (3) durch erste Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) mit einem Kreiselrahmen ( $7_1$ ,  $7_2$ ) des Corioliskreisels verbunden ist, und der zweite Schwinger (4) durch zweite Federelemente ( $6_1$  bis  $6_2$ ) mit dem ersten Schwinger (3) verbunden ist.

10 8. Corioliskreisel nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten und zweiten Federelemente so angeordnet/ausgestaltet sind, dass ein Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) bezüglich des Kreiselrahmens ( $7_3$ ,  $7_4$ ) durch das elektrostatische Feld änderbar ist, und/oder dass ein Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente  $6_1$ ,  $6_2$ ) bezüglich des ersten  
15 Schwingers (3) durch das elektrostatische Feld änderbar ist.

9. Corioliskreisel nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch die zweiten Federelemente ( $6_1$ ,  $6_2$ ) einseitig befestigt/eingespannt ist und/oder der erste Schwinger  
20 (3) an einem Kreiselrahmen des Corioliskreisels durch die ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) einseitig befestigt/eingespannt ist.

10. Corioliskreisel nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche zweiten Federelemente ( $6_1$  bis  $6_2$ ), die den zweiten Schwinger  
25 (4) mit dem ersten Schwinger (3) verbinden, so ausgestaltet sind, dass eine Krafteinleitung von dem ersten Schwinger (3) auf den zweiten Schwinger (4) im Wesentlichen von einer Seite des ersten Schwingers (3) aus erfolgt.

11. Corioliskreisel nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ), die den ersten  
30 Schwinger (3) mit dem Kreiselrahmen ( $7_3$ ,  $7_4$ ) des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sind, wobei die Anfangs- und Endpunkte der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen.

35 12. Corioliskreisel (1'), mit einem ersten und einem zweiten Resonator ( $70_1$ ,  $70_2$ ), die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ( $3_1$ ,  $3_2$ ,  $4_1$ ,  $4_2$ ) ausgestaltet sind, wobei der erste Resonator ( $70_1$ ) mit dem zweiten Resonator ( $70_2$ ) mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwin-  
40 gungsachse (72) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbar sind.

13. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 12, **gekennzeichnet durch**:

- eine Einrichtung zur Erzeugung von elektrostatischen Feldern ( $11_1$ ,  $11_2$ ,  $10_1$  bis  $10_4$ , bzw.  $11_3$ ,  $11_4$ ,  $10_5$  bis  $10_8$ ), durch die die Ausrichtung der linearen Schwinger ( $3_1$ ,  $3_2$ ,  $4_1$ ,  $4_2$ ) zueinander veränderbar ist,

- eine Einrichtung zur Ermittlung des Quadraturbias des Corioliskreisels (1'), und

- Regelkreise (64), durch die die Stärken der elektrostatischen Felder so geregelt werden, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

14. Corioliskreisels (1') nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators ( $70_1$ ,  $70_2$ ) identisch sind, wobei die Resonatoren ( $70_1$ ,  $70_2$ ) achsensymmetrisch zueinander angeordnet sind bezüglich einer Symmetrieachse (73), die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse (72) steht.

15. Corioliskreisels (1') nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Schwinger ( $3_1$ ,  $3_2$ ) jeweils durch erste Federelemente ( $5_1$  -  $5_8$ ) mit einem Kreisrahmen ( $7_1$  -  $7_{14}$ ) des Corioliskreisels verbunden, und die zweiten Schwinger ( $4_1$ ,  $4_2$ ) durch zweite Federelemente ( $6_1$  -  $6_4$ ) jeweils mit einem der ersten Schwinger ( $3_1$ ,  $3_2$ ) verbunden sind.

**GEÄNDERTE ANSPRÜCHE**

[beim Internationalen Büro am 04 Mai 2005 (04.05.05) eingegangen;  
ursprüngliche Ansprüche 1-15 durch neue Ansprüche 1-8 ersetzt (2 Seiten)]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisels, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, wobei der erste Schwinger (3) an einem Kreisrahmen des Corioliskreisels durch erste Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) befestigt, und der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch zweite Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) befestigt ist, mit den folgenden Schritten:
  - Ermitteln des Quadraturbias des Corioliskreisels,
  - Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander, wobei durch das elektrostatische Feld eine Gleichkraft erzeugt wird, die eine Änderung der Ausrichtung der ersten Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) und/oder eine Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) bewirkt, und die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausrichtung der ersten Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers (3) durch das elektrostatische Feld geändert wird, und dass die Ausrichtung der zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des zweiten Schwingers (4) durch das elektrostatische Feld geändert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Feld eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) zueinander bewirkt.
4. Corioliskreisels, mit einem ersten Resonator (1), der als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, wobei der erste Schwinger (3) an einem Kreisrahmen des Corioliskreisels durch erste Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) befestigt, und der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch zweite Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) befestigt ist, mit:
  - einer Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds (11<sub>1</sub>', 11<sub>2</sub>', 10<sub>1</sub> bis 10<sub>4</sub>), durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander änderbar ist, indem durch das elektrostatische Feld eine Gleichkraft erzeugt wird, die einen Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente (5<sub>1</sub> bis 5<sub>4</sub>) bezüglich des Kreisrahmens (7<sub>3</sub>, 7<sub>4</sub>) und/oder einen Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>) bezüglich des ersten Schwingers (3) ändert,
  - einer Einrichtung (45, 47) zur Ermittlung eines Quadraturbias des Corioliskreisels, und

- einem Regelkreis (55, 56, 57), durch den die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

- 5 5. Corioliskreisel nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche zweiten Federelemente ( $6_1$  bis  $6_2$ ), die den zweiten Schwinger (4) mit dem ersten Schwinger (3) verbinden, so ausgestaltet sind, dass eine Krafteinleitung von dem ersten Schwinger (3) auf den zweiten Schwinger (4) im Wesentlichen von einer Seite des ersten Schwingers (3) aus erfolgt.
- 10 6. Corioliskreisel nach einem der Ansprüche 4 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass sämtliche ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ), die den ersten Schwinger (3) mit dem Kreisrahmen ( $7_3$ ,  $7_4$ ) des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sind, wobei die Anfangs- und Endpunkte der ersten Federelemente ( $5_1$  bis  $5_4$ ) jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen.
- 15 7. Corioliskreisel (1') nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **gekennzeichnet durch** einen zweiten Resonator ( $70_1$ ,  $70_2$ ), der als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ( $3_1$ ,  $3_2$ ,  $4_1$ ,  $4_2$ ) ausgestaltet ist, wobei der erste Resonator ( $70_1$ ) mit dem zweiten Resonator ( $70_2$ ) mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse (72) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbar sind.
- 20 8. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators ( $70_1$ ,  $70_2$ ) identisch sind, wobei die Resonatoren ( $70_1$ ,  $70_2$ ) achsensymmetrisch zueinander angeordnet sind bezüglich einer Symmetrieachse (73), die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse (72) steht.
- 25

1/4

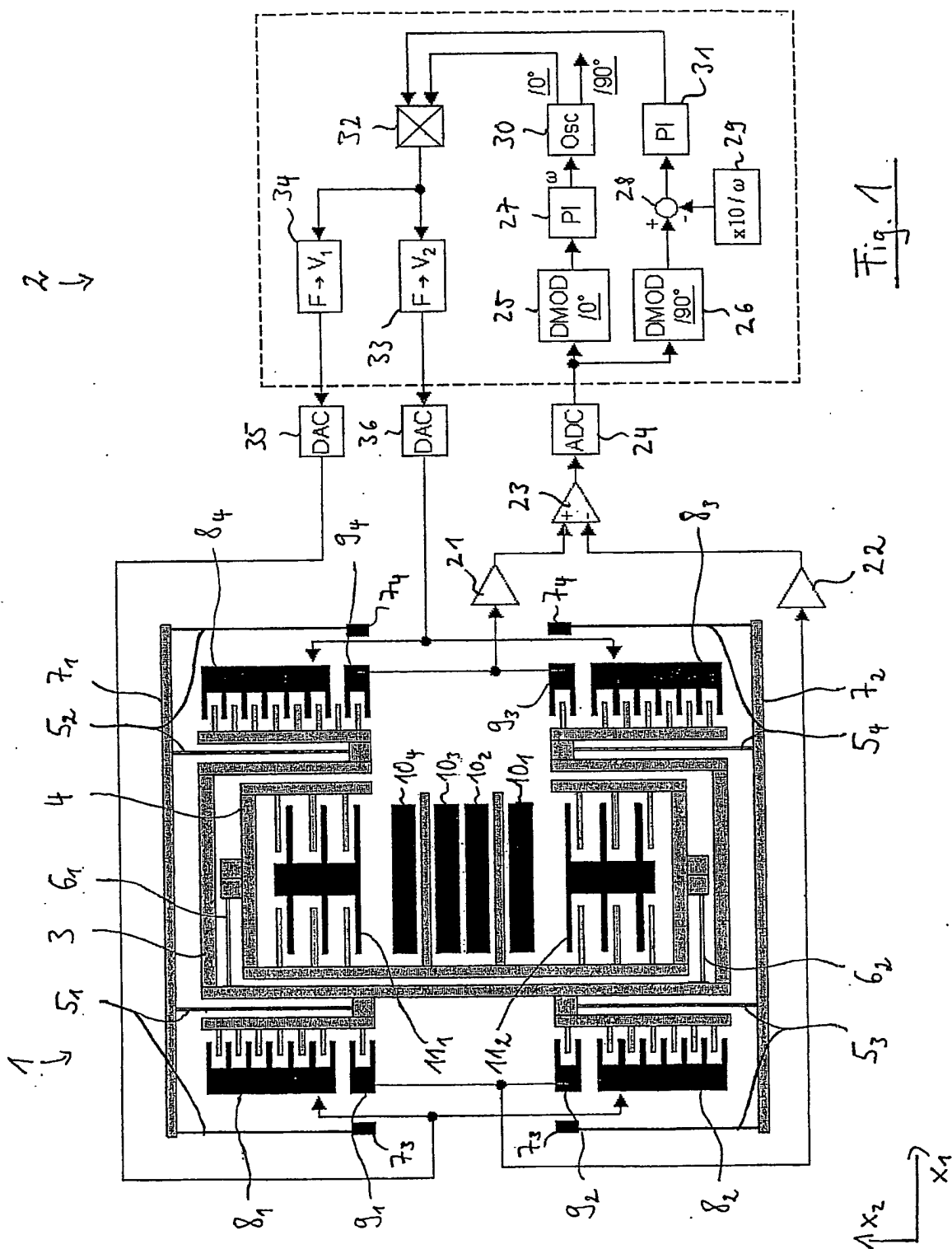
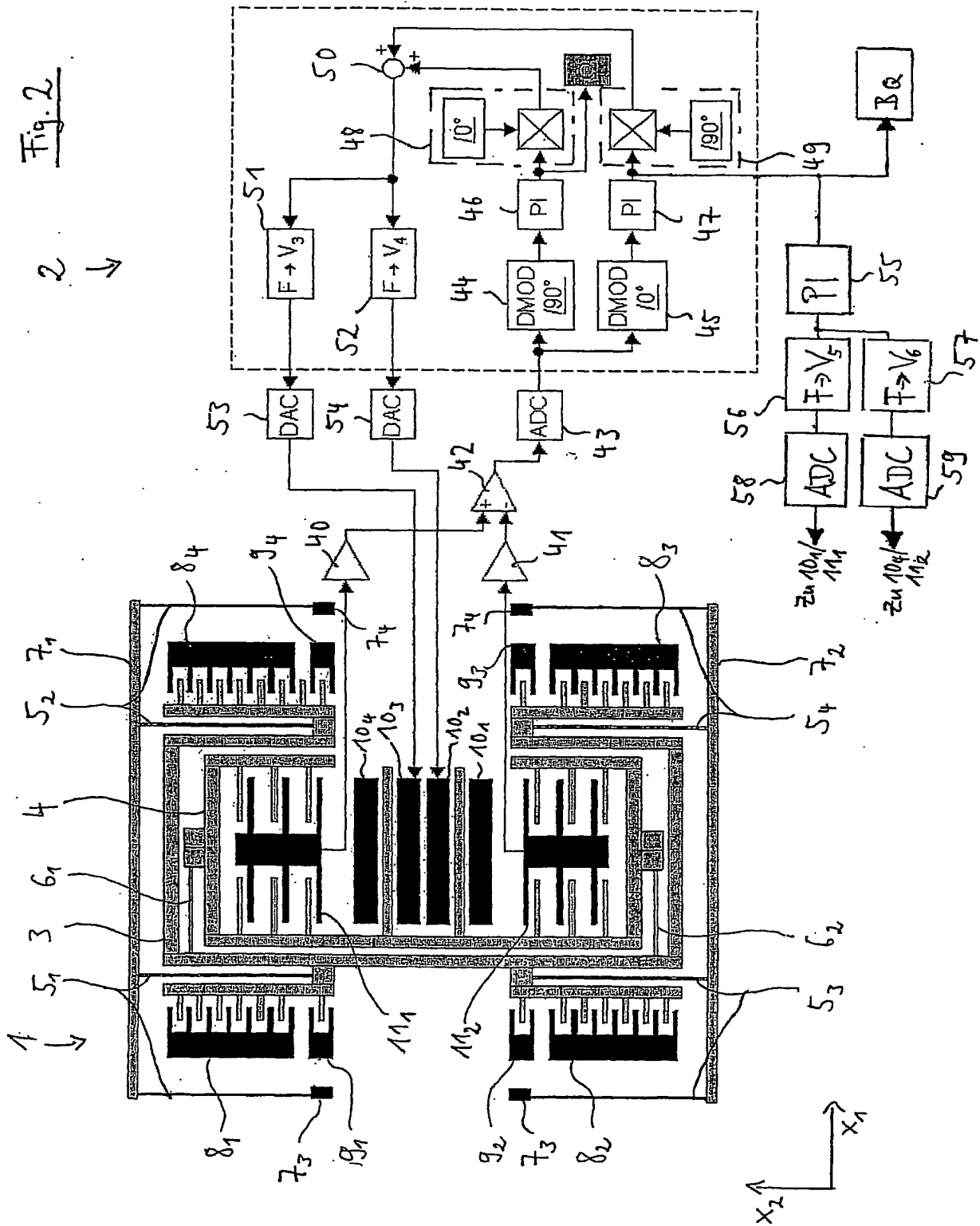
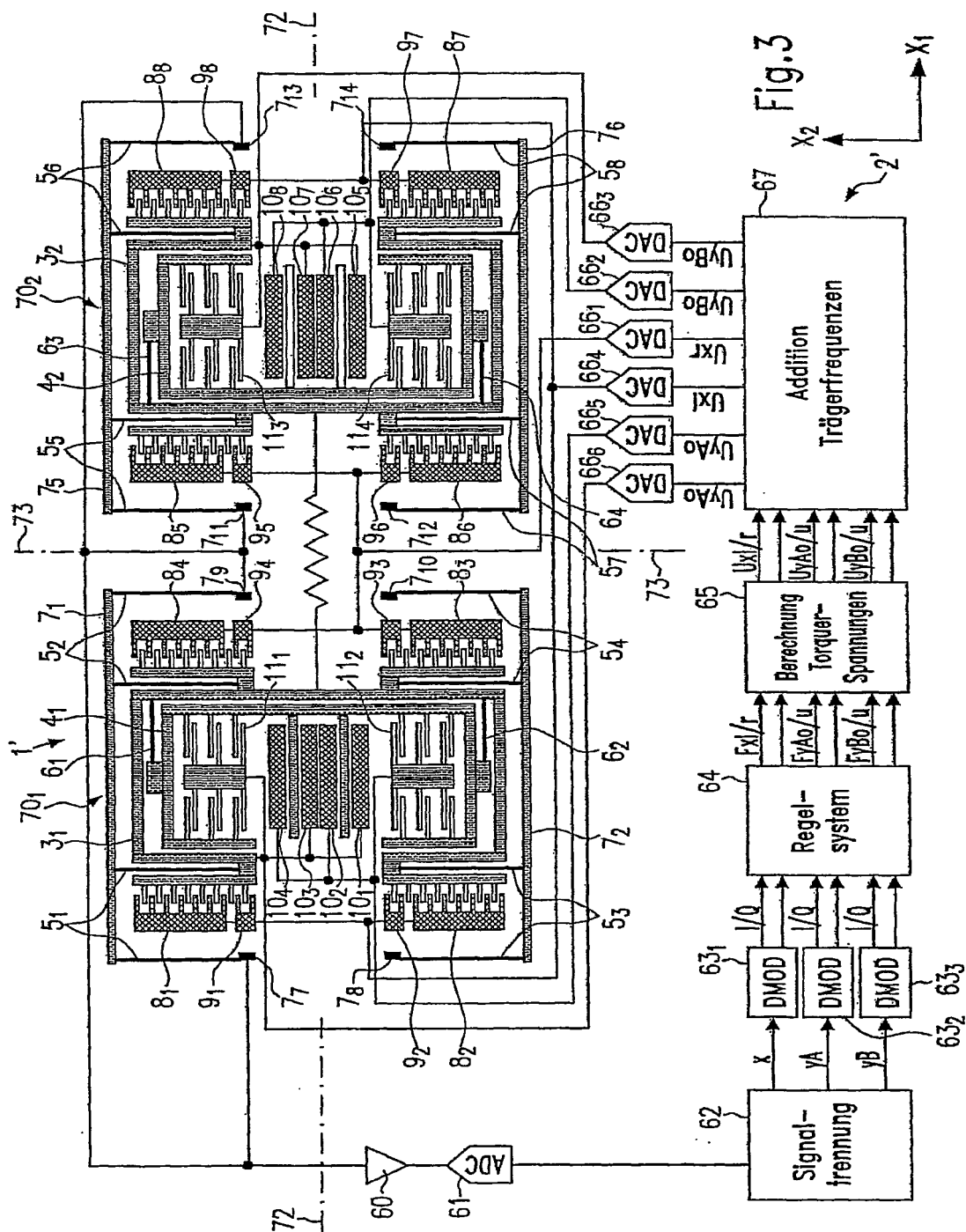


Fig. 1

2/4

Fig. 2





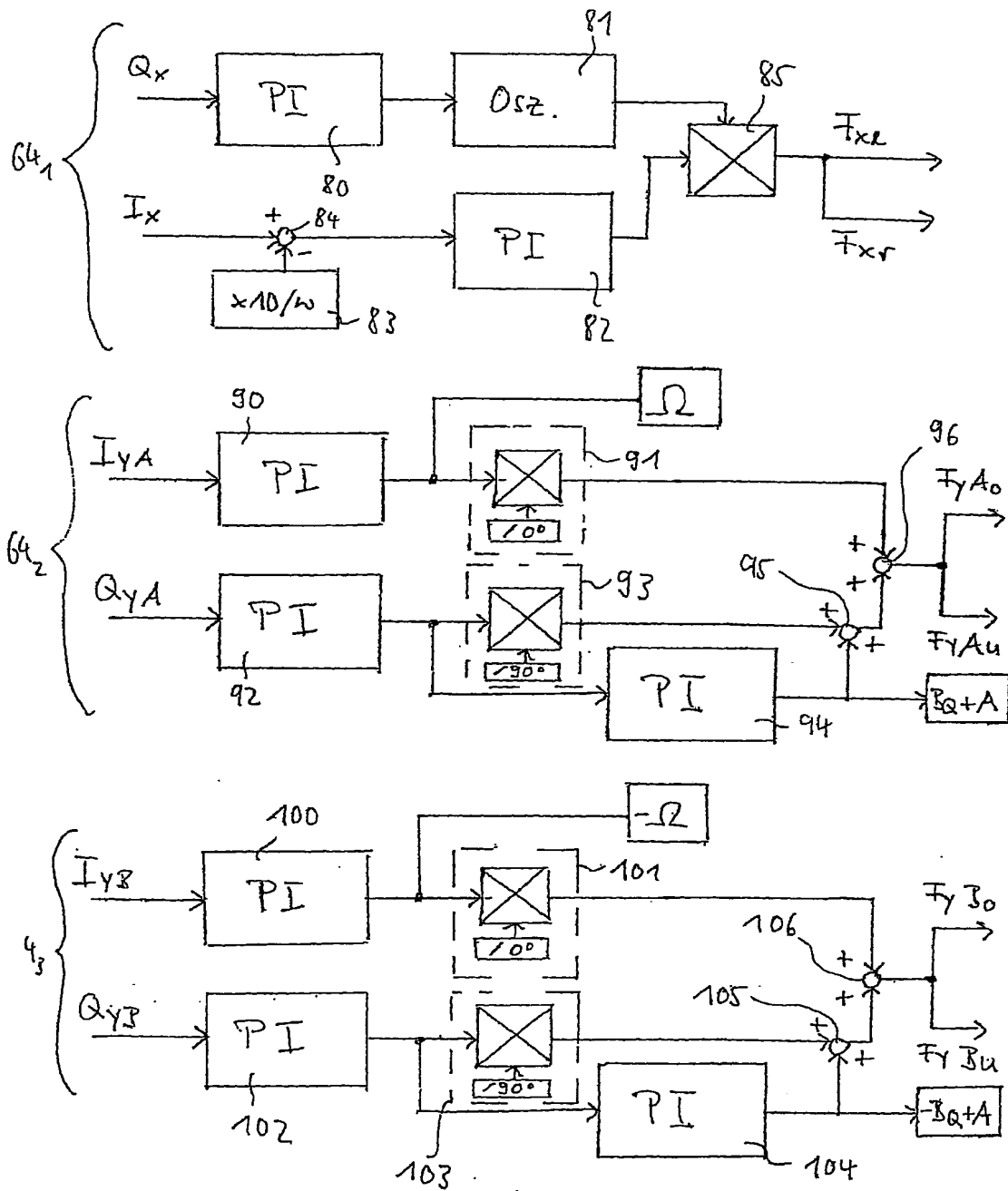


Fig. 4



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PC1/EP2004/013447

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b>		
IPC 7 G01C19/56		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC 7 G01C G01P		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)		
EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/061877 A1 (STEWART ROBERT E ET AL) 3 April 2003 (2003-04-03) page 1, paragraph 14 - page 2, paragraph 21; claims 1,4,5,22,23; figures 1,2 & US 2003/159510 A1 (STEWART ROBERT E ET AL) 28 August 2003 (2003-08-28)	1-15
X	WO 03/058167 A (ROBERT BOSCH GMBH) 17 July 2003 (2003-07-17) page 8, last paragraph - page 16, paragraph 1; figures 1-3	1-4,6-8, 12-15
X	US 6 067 858 A (CLARK ET AL) 30 May 2000 (2000-05-30) column 4, line 14 - column 8, line 32 column 13, line 60 - column 15, line 12; figures 1,2,7a,7b,7c,14	1-4,6-8
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : 'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance 'E' earlier document but published on or after the international filing date 'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) 'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means 'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed 'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention 'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone 'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art '&' document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
23 February 2005		04/03/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Springer, O

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/013447

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>US 2001/039834 A1 (HSU YING W) 15 November 2001 (2001-11-15) the whole document</p> <p>-----</p>	1-15

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP2004/013447

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003061877 A1	03-04-2003	EP 1432962 A1 WO 03029754 A1	30-06-2004 10-04-2003
US 2003159510 A1	28-08-2003	EP 1412698 A1 TW 534991 B WO 03010492 A1	28-04-2004 01-06-2003 06-02-2003
WO 03058167 A	17-07-2003	DE 10237411 A1 WO 03058167 A1 EP 1478902 A1 US 2004206176 A1	24-07-2003 17-07-2003 24-11-2004 21-10-2004
US 6067858 A	30-05-2000	US 5992233 A US 6296779 B1 US 6250156 B1 AU 3474497 A EP 0902876 A1 JP 2002515976 T WO 9745699 A2	30-11-1999 02-10-2001 26-06-2001 05-01-1998 24-03-1999 28-05-2002 04-12-1997
US 2001039834 A1	15-11-2001	WO 0171364 A1	27-09-2001

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP 2004/013447

## A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01C19/56

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01C G01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/061877 A1 (STEWART ROBERT E ET AL) 3. April 2003 (2003-04-03) Seite 1, Absatz 14 - Seite 2, Absatz 21; Ansprüche 1,4,5,22,23; Abbildungen 1,2 & US 2003/159510 A1 (STEWART ROBERT E ET AL) 28. August 2003 (2003-08-28)	1-15
X	WO 03/058167 A (ROBERT BOSCH GMBH) 17. Juli 2003 (2003-07-17) Seite 8, letzter Absatz - Seite 16, Absatz 1; Abbildungen 1-3	1-4,6-8, 12-15
X	US 6 067 858 A (CLARK ET AL) 30. Mai 2000 (2000-05-30) Spalte 4, Zeile 14 - Spalte 8, Zeile 32 Spalte 13, Zeile 60 - Spalte 15, Zeile 12; Abbildungen 1,2,7a,7b,7c,14	1-4,6-8
	-/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Februar 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

04/03/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Springer, O

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2004/013447

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Belr. Anspruch Nr.
A	US 2001/039834 A1 (HSU YING W) 15. November 2001 (2001-11-15) das ganze Dokument -----	1-15

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/013447

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003061877 A1	03-04-2003	EP 1432962 A1 WO 03029754 A1	30-06-2004 10-04-2003
US 2003159510 A1	28-08-2003	EP 1412698 A1 TW 534991 B WO 03010492 A1	28-04-2004 01-06-2003 06-02-2003
WO 03058167 A	17-07-2003	DE 10237411 A1 WO 03058167 A1 EP 1478902 A1 US 2004206176 A1	24-07-2003 17-07-2003 24-11-2004 21-10-2004
US 6067858 A	30-05-2000	US 5992233 A US 6296779 B1 US 6250156 B1 AU 3474497 A EP 0902876 A1 JP 2002515976 T WO 9745699 A2	30-11-1999 02-10-2001 26-06-2001 05-01-1998 24-03-1999 28-05-2002 04-12-1997
US 2001039834 A1	15-11-2001	WO 0171364 A1	27-09-2001